

中国图形学象报

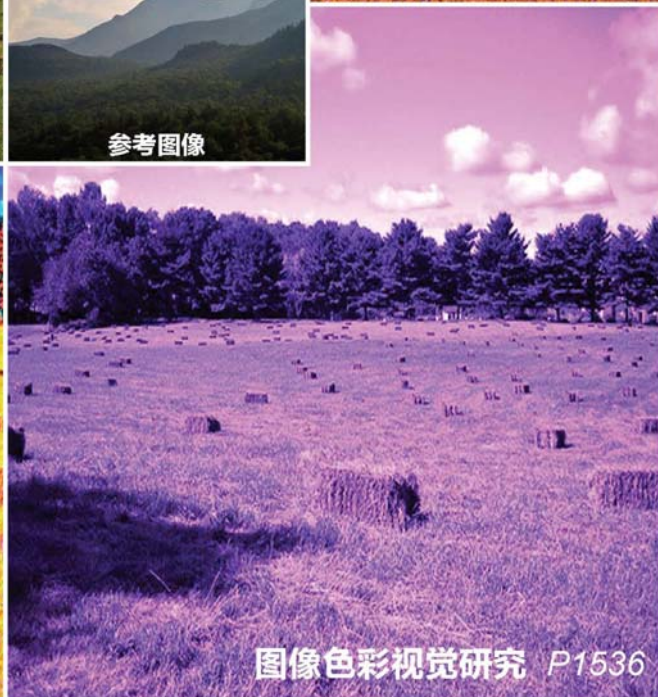
2013
11
VOL.18

ISSN1006-8961
CN11-3758 /TB



原始图像

参考图像



图像色彩视觉研究 P1536

中国图象图形学报

刊名题字：宋健 | 月刊（1996年创刊）



第18卷第11期（总第211期）

2013年11月16日

中国精品科技期刊
中国国际影响力优秀学术期刊
中国科技核心期刊

版权声明

凡向《中国图象图形学报》投稿，均视为同意在本刊网站及CNKI等全文数据库出版，所刊载论文已获得著作权人的授权。本刊所有图片均为非商业目的使用，所有内容，未经许可，不得转载或以其他方式使用。

Copyright

2013 all rights reserved by Journal of Image and Graphics, Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS. The content (including but not limited text, photo, etc) published in this journal is for non-commercial use.

主管单位 中国科学院

主办单位 中国科学院遥感与数字地球研究所

中国图象图形学学会

北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

邮政信箱 北京9718信箱

邮 编 100101

电子信箱 jig@irsa.ac.cn

电 话 010-64807995 010-82614429

网 址 www.cjig.cn

广告经营许可证 京朝工商广字第0361号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

海外发行 中国国际图书贸易集团有限公司

（邮政信箱：北京399信箱 邮编：100048）

印刷装订 北京科信印刷有限公司

Journal of Image and Graphics

Title inscription: Song Jian | Monthly, Started in 1996

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS

China Society of Image and Graphics

Institute of Applied Physics and Computational Mathematics

Editor-in-Chief LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board of Journal of
Image and Graphics

P.O.Box 9718, Beijing, P.R.China

Zip code 100101

E-mail jig@irsa.ac.cn

Telephone 010-64807995 010-82614429

Website www.cjig.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Overseas China International Book Trading Corporation

(P.O.Box 399, Beijing 100048, P.R.China)

Printed by Beijing Kexin Printing Co., Ltd.

CN 11-3758/TB

ISSN 1006-8961

CODEN ZTTXFZ

国外发行代号 M1406

国内邮发代号 82-831

国内定价 50.00元

综述

- 多媒体技术研究: 2012——多媒体数据索引与检索技术研究进展
中国计算机学会多媒体专业委员会 1383

图像处理和编码

- 热扩散和整体变分模型自适应调整的图像放大模型
王相海, 艾新南 1398
- 椒盐图像的方向加权均值滤波算法
李佐勇, 汤可宗, 胡锦涛, 林亚明 1407
- 3维自适应最小误差阈值分割法
刘金, 金炜东 1416
- 结构约束和样本稀疏表示的图像修复
康佳伦, 唐向宏, 任澍 1425
- 结合小波变换和自适应分块的多聚焦图像快速融合
刘羽, 汪增福 1435

图像分析和识别

- 飞行时间3维相机的多视角散乱点云优化配准
张旭东, 吴国松, 胡良梅, 王竹萌, 邱维巍 1445
- 采用独立色素浓度分布分割皮损图像
徐舒畅 1452
- 基于CUDA的并行加速渲染算法
刘镇, 郝冬宁, 梅向东 1457
- 连续最大流图像分割模型及算法
杨晓艺, 王小欢, 宋锦萍 1462
- 词袋特征压缩算法比较研究
杨赛, 赵春霞 1468

图像理解和计算机视觉

- 融合对象性和视觉显著度的单目图像2D转3D
袁红星, 吴少群, 朱仁祥, 安鹏 1478

计算机图形学

- 多风格融合的复杂森林场景自适应可视化
董天阳, 夏佳佳, 范菁 1486

遥感图像处理

- 保留结构细节的遥感海表温度图像的采样与重构
崔雪森, 杨胜龙, 伍玉梅, 戴阳, 范秀梅 1497
- 组合四相机拼接影像的颜色平衡
任超锋, 姚娜, 林宗坚 1504
- 复杂背景下多样水体遥感自动解译
夏列钢, 沈占锋, 李均力, 骆剑承 1513

“第十届全国智能CAD与数字娱乐会议”专栏

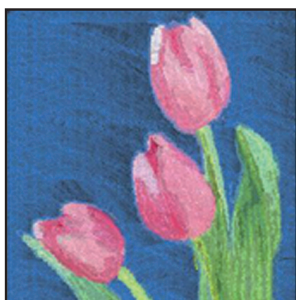
- 3D树木建模技术研究进展
谭云兰, 贾金原, 张晨, 李光耀 1520
- 网格分割的3维网格模型非盲水印算法
杜顺, 詹永照, 王新宇 1529
- 基于放缩系数和均值的多参数颜色迁移
王世亮, 徐岗, 储清林, 胡维华, 汪国昭 1536
- 基于参考图像的色粉画模拟
郑智斌, 张岩, 孙正兴, 杨克微 1542



融合对象性和视觉显著度的单目图像2D转3D(第1478页)



网格分割的3维网格模型非盲水印算法(第1529页)



基于参考图像的色粉画模拟(第1542页)

CONTENTS

JOURNAL OF IMAGE AND GRAPHICS



Single-view image 2D-to-3D conversion based on objectness and visual saliency(P1478)



Non-blind watermarking algorithm for 3D mesh models based on mesh segmentation(P1529)



Color transfer with multiple parameters by combining the scaling and mean values(P1542)

Review

- Researches on multimedia technology, 2012
Multimedia data indexing and retrieval technology: a review
CCF Multimedia Technology Committee 1383

Image Processing and Coding

- Image magnification model based on adaptive adjustment of thermal diffusion and TV model
Wang Xianghai, Ai Xinnan 1398
Directional weighted mean filter for image with salt & pepper noise
Li Zuoyong, Tang Kezong, Hu Jinmei, Lin Yaming 1407
Three-dimensional adaptive minimum error thresholding segmentation algorithm
Liu Jin, Jin Weidong 1416
Image inpainting by structural constraints and sample sparse representation
Kang Jialun, Tang Xianghong, Ren Shu 1425
Multi-focus image fusion based on wavelet transform and adaptive block
Liu Yu, Wang Zengfu 1435

Image Analysis and Recognition

- Multi-view scattered point cloud optimization registration using a TOF camera
Zhang Xudong, Wu Guosong, Hu Liangmei, Wang Zhumeng, Di Weiwei 1445
Skin lesion segmentation by using independent pigment concentration distribution
Xu Shuchang 1452
Based on the parallel rendering algorithm in CUDA
Liu Zhen, Hao Dongning, Mei Xiangdong 1457
Image segmentation model and algorithm based on continuous max-flow approach
Yang Xiaoyi, Wang Xiaohuan, Song Jinping 1462
Comparative research on compression algorithms of bag-of-features
Yang Sai, Zhao Chunxia 1468

Image Understanding and Computer Vision

- Single-view image 2D-to-3D conversion based on objectness and visual saliency
Yuan Hongxing, Wu Shaoqun, Zhu Renxiang, An Peng 1478

Computer Graphics

- Adaptive visualization of multi-style composition for complex forest scene
Dong Tianyang, Xia Jiajia, Fan Jing 1486

Remote Sensing Image Processing

- Structural detail-reserving method of sampling and reconstruction of remote sensing SST image
Cui Xuesen, Yang Shenglong, Wu Yumei, Dai Yang, Fan Xiumei 1497
Color balancing of the stitched images of a combined four-head camera
Ren Chaofeng, Yao Na, Lin Zongjian 1504
Automatic interpretation of diverse water bodies from remotely sensed images in complex background
Xia Liegang, Shen Zhanfeng, Li Junli, Luo Jiancheng 1513

Issum of CIDE' 2013

- Survey on Virtual 3D Tree Modeling Technologies
Tan Yunlan, Jia Jinyuan, Zhang Chen, Li Guangyao 1520
Non-blind watermarking algorithm for 3D mesh models based on mesh segmentation
Du Shun, Zhan Yongzhao, Wang Xinyu 1529
Color transfer with multiple parameters by combining the scaling and mean values
Wang Shiliang, Xu Gang, Chu Qinglin, Hu Weihua, Wang Guozhao 1536
Image-based pastel simulation
Zheng Zhibin, Zhang Yan, Sun Zhengxing, Yang Kewei 1542

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2013)11-1513-07

论文引用格式: 夏列钢, 沈占锋, 李均力, 骆剑承. 复杂背景下多样水体遥感自动解译[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(11): 1513-1519.
 [DOI: 10.11834/jig.20131116]

复杂背景下多样水体遥感自动解译

夏列钢¹, 沈占锋¹, 李均力², 骆剑承¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011

摘要: 由于各种背景因素(云、阴影等)的干扰及水体本身在光谱、形状上的复杂变化, 遥感水体信息提取技术无法完全实现业务化自动运行。以复杂背景下多样水体的自动解译为目标, 按实用化要求提出了新的水体提取流程, 通过整合自适应分割与分类、局部迭代、矢量化后处理等关键技术, 初步完成了基于 Landsat TM/ETM 影像的大规模水体信息自动提取。选取了两个较典型的研究区域: 巴尔喀什湖地区和长江中下游地区, 应用本文方法对两个地区各 8 景 TM 影像进行水体自动提取, 发现可以有效克服薄云、阴影、水质变化等干扰因素, 取得了较好的提取效果, 能初步满足实际应用需求。

关键词: 大规模水体提取; 自动解译; 巴尔喀什湖; 长江; 自适应迭代

Automatic interpretation of diverse water bodies from remotely sensed images in complex background

Xia Liegang¹, Shen Zhanfeng¹, Li Junli², Luo Jiancheng¹

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;
 2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

Abstract: Suffering from the interference of all kinds of background factors (clouds, shadows and pollution) and complicated changes of water itself in spectrum and shape, the process of water extraction can still not be completely automatic. Based on the goal of automatic interpretation of diverse water bodies under complicated backgrounds a new water extraction process is put forward by practical requirements. Adaptive segmentation or classification, local iteration, and post processing are the key steps of the proposed method mainly designed for the automatic extraction of large-scale water body information from Landsat TM/ETM images. The experiments are conducted on two typical research areas, Balkhash Lake and the Yangtze River region, each with 8 scenes of TM images. And we found that the proposed method can effectively overcome the interference factors, such as the cloud, shadow, water changes, which can achieve better extraction effect and preliminarily satisfy the actual application needs.

Key words: large-scale water extraction; automatic interpretation; Balkhash lake; Yangtze River; adaptive iteration

收稿日期: 2013-03-12; 修回日期: 2013-04-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971228, 41271367, 41101398); 水体污染控制与治理科技重大专项项目(2009ZX07318-001); 国家科技支撑计划项目(2011BAH06B02)

第一作者简介: 夏列钢(1986—), 男, 中国科学院遥感与数字地球研究所地图学与地理信息系统专业博士研究生, 主要研究方向为遥感影像自动解译与分析, 智能图像理解认知等。E-mail: xialg@irsa.ac.cn

0 引言

随着空间观测技术的提高与应用普及,遥感影像正逐渐成为某些行业不可或缺的数据来源,这也凸显了高效精确解译遥感数据的需求,然而在很多实际应用中,遥感影像中有效信息的提取还完全或严重依赖人工参与^[1-2]。以多光谱影像水体提取为例,尽管水体光谱特征突出,在遥感影像中边界较明显,但在大规模水资源调查以及灾害评估等应用中,计算机对遥感影像的处理仍无法取代人工判读,大量调整、后处理工作仍需要研究人员完成。这种情况一方面与影像获取过程中复杂的地表环境与天气状况有关,如阴影、云层等的干扰,另一方面也与水体本身的多样性相关,如水体以湖泊、河流等不同形式出现,甚至有可能因为自然或人为因素造成水质变化^[3-4]。这些问题有的是基于遥感信息自动提取技术瓶颈而普遍存在,也有的只在水体提取中存在,本文以实用化水体提取为目标,着力解决复杂背景下多样水体信息的自动化、精确化提取。

虽然水体信息被普遍认为较易提取,但从现有的研究文献来看,大部分算法还是以区域特定影像的实验为主,尽管多数学者提到算法设计时考虑到推广性能,但鲜有专门针对实际复杂地表与影像情况进行大规模综合水体自动提取研究的案例,因此其参考性多停留在算法层次。总体来讲,国内外学者的研究工作主要可分为两方面:一是从水体光谱特征出发,结合应用影像的波段设置情况,设计水体指数表征影像中水体存在的可能性,以此为基础较易实现自动提取,如 NDWI(归一化差分水体指数)、MNDWI(改进的归一化差分水体指数)等的设计^[5-8];二是从影像中水体的光谱、形状特征出发,通过构建提取模型等方法完成分类实现水体提取^[9-11],如邓劲松等人分析了 SPOT-5 影像中水体及其他主要地物的光谱特性及波段间的关系并建立决策树模型提取水体^[12]。当研究区域较大且水体较复杂时,骆剑承等人提出了基于水体指数的“全域-局部”迭代自动分类方法完成了西藏地区湖泊的提取工作^[13],李均力等人通过对湖泊变化季节性因素、湖泊变化信息的提取以及大区域湖泊变化的分析方法的研究建立了 1970 年以来的 4 个时段青藏

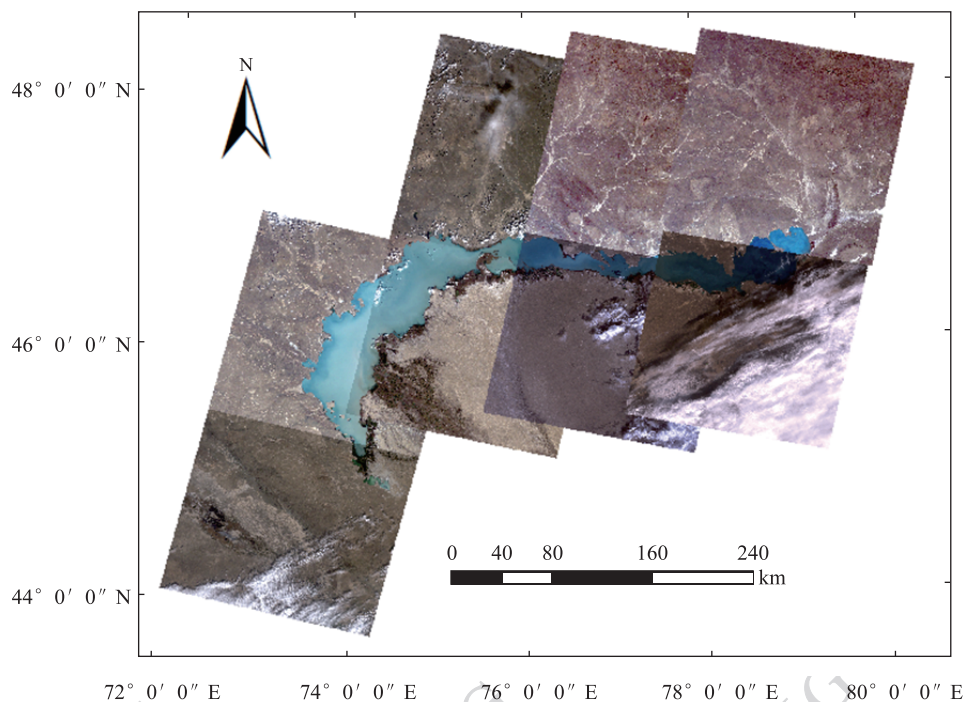
高原湖泊分布及变化图^[14],这些方法是上述两类方法的较好结合。

参考上述研究成果,从实用化的角度出发,对大规模水体提取技术从数据到算法以及最后成图分别加以探讨,重点关注影响水体提取效果的两个主要因素:复杂的非水体背景、多样的水体分布形式。在具体实现中借鉴并提出了自适应分割与分类选择、自适应局部迭代、矢量化后处理等技术,最终在多批数据的水体提取实验中取得了较好的综合效果。

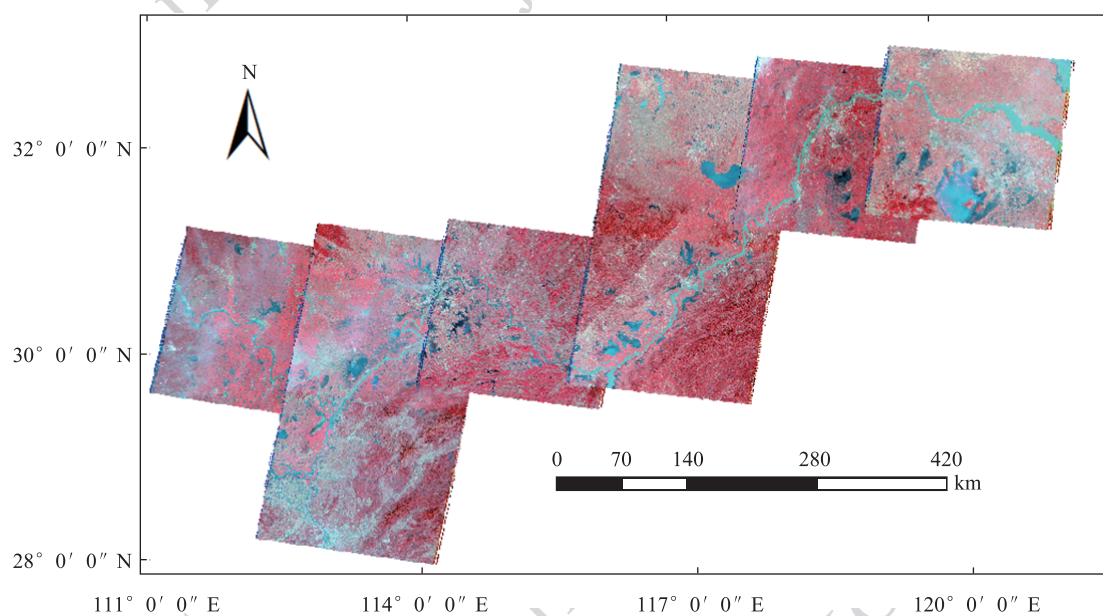
1 研究区域概况

本文方法主要以提取湖泊、河流等水体为主,因此试验区选择主要包括两部分:一是中国西北以及中亚部分区域,主要以湖泊为主,如位于哈萨克斯坦的巴尔喀什湖、位于中国新疆的博斯腾湖等,这里分布有面积较大的湖泊,一般需多景影像(以 Landsat TM 数据为参考)才能完全覆盖,而阴影、冰雪、云等因素的干扰难以通过数据筛选完全避免;另一部分位于中国东南沿海长江中下游区域,主要以河流为主,这里不但河湖复杂交错,而且人类活动密集,水质变化导致水体在影像上的“同物异谱”现象较为普遍,河流所跨区域较大使其自身的光谱复杂性也大大增加。

同样从实用角度考虑,Landsat 数据无论从数据质量还是数据获取连贯性都有较大应用优势,实际使用也比较广泛^[15],因此本文实验数据以 Landsat TM5 数据为主。按实验要求选取了覆盖巴尔喀什湖的 8 景 TM 影像,其中大部分为 2009 年 10 月获取,如图 1(a)所示。这批数据云量较大,但水体部分被云覆盖的并不多,部分水体的矿物含量导致光谱表现有所异常,因此提取的主要难点在于排除不同云层及其阴影的干扰,同时也要考虑水体本身的变化。在长江中下游地区同样选择了 8 景 TM 影像,主要从 2006 年和 2007 年夏季获取质量较好的影像中挑选,如图 1(b)所示。此区域非水体背景环境复杂,水体本身变化多样,同时影像中仍有少量薄云覆盖,因此提取的主要难点在于针对不同地区不同性质的河流、湖泊进行局部处理,同时排除各种干扰使整体结果保持一致性。另外,这两个研究区的水体覆盖范围较广,多景影像间的综合后处理也是需要重点关注的技术。



(a) 巴尔喀什湖



(b) 长江

图1 研究区影像

Fig. 1 Images in study area

2 研究方法

一般遥感应用往往对数据时相要求较高,但在大规模应用时往往很难通过数据选择来消除所有环

境不利因素,从中分辨率遥感影像中水体提取实际情况来看,对提取效果影响较大的环境因素主要有山体或云造成的阴影、薄云、冰雪等,而水体自身的形状、受污染状况也会影响最终提取效果。以图谱认知理论来看^[16],环境因素主要在“谱”上与水体

混淆,而水体自身的复杂性则主要表现在“图”上。从应对方法上来看,分割计算简单快速,适合处理复杂程度不高、光谱相对一致的水体;而分类计算可以引入形状、纹理等辅助特征,适合处理复杂分布且光谱变化剧烈的水体,在应用过程中需要根据具体水体与背景情况选择合适的处理技术以保证提取精度与效率(表 1)。

表 1 主要干扰因素及应对方法

Table 1 Methods for interference factors					
干扰因素	山体阴影	云阴影	薄云	冰雪	水质变化
判别原理	地形	“谱” “图”	“谱” “图”	“谱”	“谱” “图”
提取方法	分割	分类	分割	分割	分类

考虑到研究数据的复杂性,在较大区域内以同样的光谱或形状标准判别水体是不现实的,这要求更深入地了解水体区别于其他地物的本质特征或者根据水体的不同表现自适应地调整判别标准,参考骆剑承等人^[13]针对后一种解决方法的分步迭代算法,设计了如图 2 所示水体提取流程。首先对经过预处理(辐射校正、几何校正等)的遥感数据进行水体指数计算,并根据初始阈值划定所有水体区域,同时利用区域形状指数、背景复杂性等具体指标判断当前影像内水体的复杂性,对于复杂度不同的水体采用不同的技术手段(分割或分类)实现水体提取;然后以提取结果中的水体作为局部区域,在局部区域内重复上述提取过程直至水体区域在整体形状及光谱上达到稳定;最后对水体进行矢量化后处理,针对大区域还需进一步合并矢量等。

根据上述试验区地表环境与获取影像的实际情况,针对实际应用需求,在自主研发的遥感信息提取与目标识别软件平台(SINCE2008)的支持下,采用 Visual C++ 开发完成了实用化的遥感影像水体信息自动解译应用系统。以下根据目标实现及应用过程中的难点具体介绍其中的关键算法。

2.1 自适应分割或分类

表 1 所示为应用分割或分类的技术的经验标准,在实际应用中需要设计具体的复杂性指数用于判断水体或背景的复杂程度,从而决定当前步骤采用的技术。复杂性指数计算参考指标包括水体指数的直方图波峰数、局部水体面积、形状指数、迭代变化剧烈程度等参数,各参数的权重根据经验调整预设(主要与研究区域的水体类型相关),最终根据这些参数加权平均算得复杂性指数

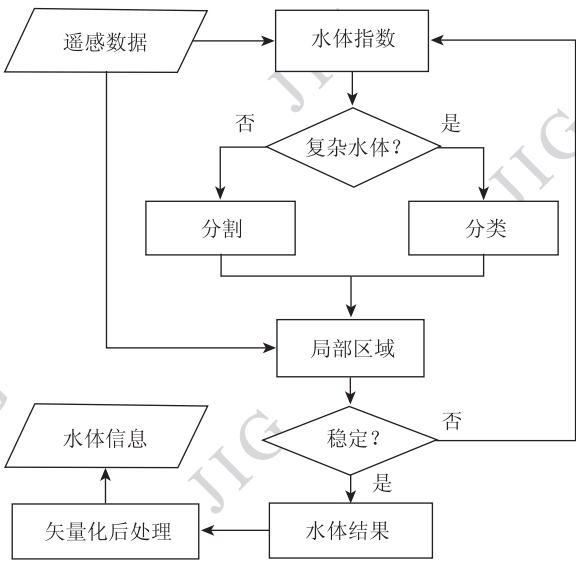


图 2 水体提取流程

Fig. 2 Flow chart of water extraction

$$C = \sum_i a_i P_i$$

式中, C 为复杂性指数, a_i 为上述相应参数 P_i 的权重。将计算结果与阈值比较即可确定下一步采用分割或分类:分割采用文献[4]所述直方图阈值分割,分类则采用文献[13]所述自动抽选样本并按多光谱特征监督分类。

2.2 自适应迭代

局部迭代是提高局部区域水体提取精度的有效方法^[17],但在实际操作中往往难以确定迭代终止条件,如本文算法中对于局部水体区域稳定的条件即可从多个方面诠释。在具体应用中通过计算迭代变化剧烈程度、局部缓冲区域自适应调整等手段改进迭代效果。变化程度采用前一次迭代过程中水体变化区域绝对值大小和相对原水体区域面积比两个指标指示;局部缓冲区域的大小与局部水体提取精度相关,对于双峰分布的理想水体与背景采用缓冲区面积为水体面积两倍,而对复杂性指数较大的局部区域应适当增大缓冲区改善迭代效率。

2.3 矢量化后处理

对整个研究区的水体进行提取要求最终结果为完整的矢量(如巴尔喀什湖尽管分布于多景影像,但结果应为单个多边形矢量),其中的关键技术是矢量化以及多景影像矢量结果的合并。这两种技术具有较成熟的算法可供借鉴,针对本文的应用仅需略做改进即可。首先以景为单位进行栅格矢量化得到所有矢量水体;然后参考成像时间、水体边缘重合等进行自动矢量合并。

3 实验结果与分析

采用本文算法对两个研究区进行了水体提取实验,具体结果如图3所示,两个区域的主要水体——巴尔喀什湖和长江(高亮显示矢量)均

被准确完整提取,可以满足应用需求,区域内的零散水体也基本上被准确提取(蓝色区域),长江中下游区仍存在少量细小河流难以完整提取,其他的主要误差由云及其阴影造成,但分类方法的应用已经在区别这些干扰物上有了较大改善。

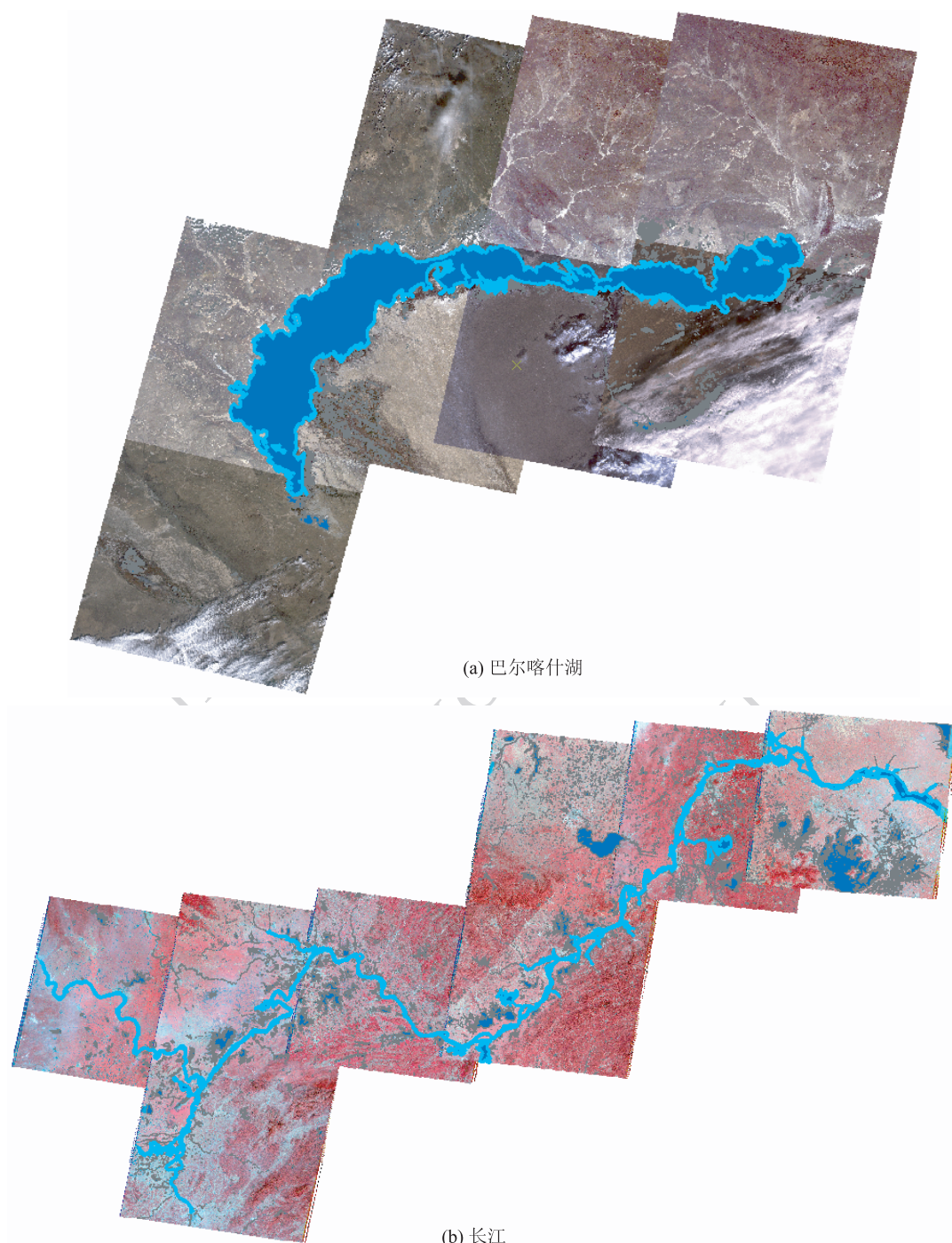


图3 研究区水体提取结果

Fig. 3 Results of water extraction

由于遥感解译结果一般针对影像获取对应时刻的地面实时状况,一般通过在原影像中采集测试点进行直接验证,为了从整体上检验本文算法的精度,从每个研究区的所有影像中各选取了 800 个检验样本,样本位置主要为水体边缘、干扰物所在位置(阴影、异质水体等),其中水体与非水体各 400 个,两个研究区的总体精度分别达到 97.8% 和 95.9%,水体的生产精度(实际为水体,结果符合)较高,而非水体的用户精度(结果为非水体,与实际相符)较高,具体测试结果如表 2、表 3 所示。

表 2 巴尔喀什湖水体提取精度
Table 2 Accuracy of water extraction in Balkhash Lake

	水体	非水体	用户精度/%
水体	399	17	95.9
非水体	1	383	99.7
生产精度/%	99.8	95.8	97.8

表 3 长江中下游水体提取精度
Table 3 Accuracy of water extraction in Yangtze River

	水体	非水体	用户精度/%
水体	396	29	93.1
非水体	4	371	98.9
生产精度/%	99.0	92.8	95.9

对研究区影像的处理时间分别进行统计,具体结果如表 4 所示。

表 4 研究区影像处理时间对比
Table 4 Comparison of processing time in two research area

研究区	提取时间	后处理时间	总时间/s
巴尔喀什湖	874	361	1 235
长江中下游	1 381	277	1 658

为了比较分割与分类两种方法在效率上的差异,对全部 16 景影像的主要提取技术及完成时间(不包括矢量化后处理时间)进行了统计,结果如表 5 所示。

从上述精度统计可以看出本文算法对两个研究区的水体提取均具有较高精度,相对来讲非水体被误分为水体的几率比水体错分的概率大,这主要与迭代提取的算法设计相关,同时也不排除部分混合像素的判断标准不一致。可以明显看出巴尔喀什湖

表 5 分割与分类提取水体时间对比
Table 5 Comparison of processing time by segmentation and classification

研究区	技术	数量/景	平均时间/s
巴尔喀什湖	分割	5	67.2
	分类	3	179.3
长江中下游	分割	2	81
	分类	6	203.2

区域的提取精度相比长江中下游区域更高,主要原因首先是巴尔喀什湖泊的复杂程度相对较低,分布区域较集中,水质变化较河流更小;其次巴尔喀什湖区域背景相对单一,水陆反差明显,而相对的长江中下游地区地物分布复杂,特别是在薄云覆盖下导致地物光谱变化往往造成误分。

从表 5 提取时间统计可以看出分割技术的效率明显比分类更高,平均速率相差近 2 倍。巴尔喀什湖区域的处理时间明显较短,这主要与其区域水体复杂性较低可以更多地采用分割提高效率相关,但是由于其单个水体规模较大,后处理计算量反而更大,所需时间也相应增加。

4 结 论

针对遥感大规模水体提取中可能面对的复杂背景环境及复杂多样的水体提出了自适应选择分割与分类、自适应局部迭代、矢量化后处理等技术,以提高水体提取的精度与效率,促进遥感水体提取技术的实用化推广。从两个研究区的实验结果来看,本文算法可以较好地克服各种干扰因素的影响,在提升算法适用范围的情况下同时有效提高提取精度,另外由于矢量化后处理方法的集成,整个提取流程更加适应实用需求,尤其是对于规模较大、复杂程度较高的水体。

当然本文算法也需要继续改进,后续除了在实际应用中不断改进提高算法效率外,从信息提取上还可以考虑引入时相相近的前期水体提取结果作为先验的辅助知识,特别是对于被云层及阴影覆盖的水体会有较明显的改进作用。另外,本文的精度检验方法也并不一定能反映实际的应用需求^[18],后续仍需采用更灵活的策略使精度评价能真正反映应用过程中的需求。

参考文献 (References)

- [1] Lillesand T M, Kiefer R W, Chipman J W. Remote Sensing and Image Interpretation [M]. New York: John Wiley & Sons, 2004.
- [2] Zhou C H, Luo J C. High-Resolution Satellite Remote Sensing Images Geo-computing [M]. Beijing: Science Publishing House, 2009: 1-25. [周成虎, 骆剑承. 高分辨率卫星遥感影像地学计算[M]. 北京: 科学出版社. 2009: 1-25.]
- [3] Yi S Z, Wang Z H. Application of different methods in water extraction by remote sensing data [J]. Infrared, 2007, 28(4): 1-4. [易善桢, 王志辉. 不同方法在水体遥感提取中的应用实现[J]. 红外, 2007, 28(4): 1-4.]
- [4] Li J L, Sheng Y W, Luo J C. Automatic extraction of himalayan glacial lakes with remote sensing [J]. Journal of Remote Sensing, 2011, 15(1): 29-43. [李均力, 盛永伟, 骆剑承. 喜马拉雅山地区冰湖信息的遥感自动化提取[J]. 遥感学报, 2011, 15(1): 29-43.]
- [5] McFeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features[J]. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425-1432.
- [6] Ouma Y O, Tateishi R. A water index for rapid mapping of shoreline changes of five east african rift valley lakes: an empirical analysis using landsat TM and ETM+ data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2006, 27(15): 3153-3181.
- [7] Xu H Q. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) [J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 589-595. [徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005 9(5): 589-595.]
- [8] Shen Z F, Xia L G, Li J L, et al. Automatic and high-precise extraction of river from remotely sensed images with gaussian normalized water index [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(4): 71-78. [沈占锋, 夏列钢, 李均力, 等. 采用高斯归一化水体指数实现遥感影像河流的精确提取[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(4): 71-78.]
- [9] Zhou C H, Du Y Y, Luo J C. A description model based on knowledge for automatically recognizing water from NOAA/AVHRR [J]. Journal of Natural Disasters, 1996, 5(3): 100-108. [周成虎, 杜云艳, 骆剑承. 基于知识的 AVHRR 影像的水体自动识别方法与模型研究[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(3): 100-108.]
- [10] Du J K, Huang X S, Feng X Z, et al. Study on water bodies extraction and classification from SPOT image [J]. Journal of Remote Sensing, 2001, 5(3): 214-219. [都金康, 黄永胜, 冯学智, 等. SPOT 卫星影像的水体提取方法及分类研究[J]. 遥感学报, 2001, 5(3): 214-219.]
- [11] Bhagat V S, Sonawane K R. Use of Landsat ETM plus data for delineation of water bodies in hilly zones[J]. Journal of Hydroinformatics, 2011, 13(4): 661-671.
- [12] Deng J S, Wang K, Li J, et al. Study on the automatic extraction of water body information from SPOT-5 images using decision tree algorithm [J]. Journal of Zhejiang University: Agric. & Life Sci., 2015, 31(2): 175-174. 邓劲松, 王珂, 李君, 等. 决策树方法从 SPOT-5 卫星影像中自动提取水体信息研究[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2005, 31(2): 171-174.
- [13] Luo J C, Sheng Y W, Shen Z F, et al. Automatic and high-precise extraction for water information from multispectral images with the step-by-step iterative transformation mechanism [J]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(4): 610-615. [骆剑承, 盛永伟, 沈占锋, 等. 分步迭代的多光谱遥感水体信息高精度自动提取[J]. 遥感学报, 2009, 13(4): 610-615.]
- [14] Li J L, Sheng Y W, Luo J C, et al. Remotely sensed mapping of inland lake area changes in the Tibetan Plateau [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, 23(3): 311-320. [李均力, 盛永伟, 骆剑承, 等. 青藏高原内陆湖泊变化的遥感制图[J]. 湖泊科学, 2011, 23(3): 311-320.]
- [15] Wulder M A, White J C, Goward S N, et al. Landsat continuity: Issues and opportunities for land cover monitoring [J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(3): 955-969.
- [16] Luo J C, Zhou C H, Shen Z F, et al. Theoretic and methodological review on sensor information tupu computation [J]. Journal of Geo-Information Science, 2009, 11(5): 5664-5669. [骆剑承, 周成虎, 沈占锋, 等. 遥感信息图谱计算的理论方法研究[J]. 地球信息科学学报, 2009, 11(5): 5664-5669.]
- [17] Hu X D, Luo J C, Xia L G, et al. Adaptive water body information extraction using RS TUPU computing model [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2011, 40(5): 544-550. [胡晓东, 骆剑承, 夏列钢, 等. 图谱迭代反馈的自适应水体信息提取方法[J]. 测绘学报, 2011, 40(5): 544-550.]
- [18] Frazier P S, Page K J. Water body detection and delineation with landsat TM data [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2000, 66(12): 1461-1467.